

**TINJAUAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG
MENGUNAKAN KAPUR SEBAGAI BAHAN STABILISASI
DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN TANAH
(Studi Kasus Tanah Lempung Tanon, Sragen)**

Naskah Publikasi

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil



diajukan oleh :

**Lintang Bayu Praboto
NIM : D 100 100 019**

kepada,

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

TINJAUAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN KAPUR SEBAGAI BAHAN STABILISASI DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN TANAH (Studi Kasus Tanah Lempung Tanon, Sragen)

Naskah Publikasi

Diajukan dan dipertahankan pada Ujian Pendadaran
Tugas Akhir di hadapan Dewan Penguji
Pada tanggal : 10 Desember 2015

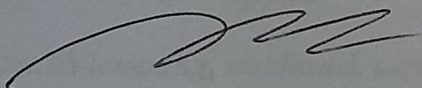
diajukan oleh :

LINTANG BAYU PRABOTO

NIM : D 100 100 019

Susunan Dewan Penguji:

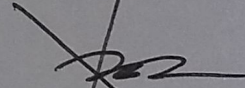
Dosen Pembimbing I



Qunik Wiqoyah, S.T., M.T.

NIK : 690

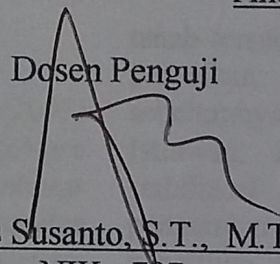
Dosen Pembimbing II



Anto Budi Listyawan, S.T., MSc

NIK : 913

Dosen Penguji



Agus Susanto, S.T., M.T.

NIK : 787

Tugas Akhir ini diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk mencapai derajat Sarjana S-1 Teknik Sipil
Surakarta, Desember 2015

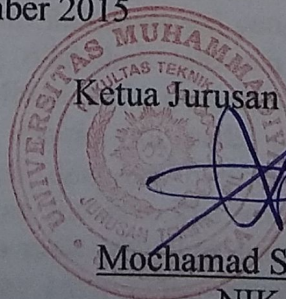
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Sunarmono, PhD.

NIK : 682

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Mochamad Solikin, PhD.

NIK : 972

ABSTRACTION

REVIEW OF STRONG SHEAR CLAY SOIL STABILIZATION USING LIMESTONE AS MATERIAL WITH VARIATION OF DIAMETER GRAINS SOIL

(case study of clay Tanon , Sragen)

Based on the research results Wiqoyah (2003) Tanon soil is clay. Percentage sieve No. 200 clay is at 94.13%, liquid limit (LL) = 88.03%, the plasticity index (IP) = 49.44%. Based on the system of the American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO), clay Tanon included into the group of A-7-5, and based on the classification of the Unified Soil Classification System (USCS) belong to the group CH ie inorganic clay with high plasticity. Based on the research above example that stabilization with lime can improve soil conditions, but so far it is not known how the effect of variations in the diameter of grain to the stabilization of the land. In this study conducted an experiment using a variety of soil particle diameter is through sieve No. 4, through sieve No. 30 and sieve No. 50, this is done to determine whether the grain diameter variations affect the physical and mechanical properties of the clay soil. In this study, the test was conducted on the physical properties of the soil mix and test the DST (Direct Shear Test) with the addition of lime amounted to 2.5% and 5% of the weight of the sample. Results of testing the physical properties of the soil mixture obtained water content, density (specific gravity), the liquid limit and plasticity index fell, while the value of plastic limit and shrinkage limit rose. Results of soil testing mixtures classified according to AASHTO system, including a group of A-7-5, while according to the system USCS, clay + lime 2.5% into the group CH and clay + lime 5% belong to the group MH. Results of testing the mechanical properties of testing standards and testing Proctor DST (Direct Shear Test), from Proctor standard test showed a decrease in weight of dry volume and the largest decline occurred in the land passes No. 50 + lime 5% by volume dry weight values of 1.062 g / cm³, for optimum water content largest increase occurred in soil sieve No. 4 at the limestone addition of 5% with the results of the optimum water content of 32.46%. The test results DST (Direct Shear Test) increase, the biggest increase occurred in the soil through sieve No. 4 at the limestone addition of 5% with a value of shear stress (τ) 0.677 kg / cm².

Keywords: *clay, stabilization, lime, physical properties, shear strength.*

TINJAUAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN KAPUR SEBAGAI BAHAN STABILISASI DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN TANAH (STUDI KASUS TANAH TANON, SRAGEN)

Lintang Bayu Praboto

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pabelan
Kartasura Tromol Pos 1 Surakarta 57102

e-mail : lintang_bayu3@yahoo.com

ABSTRACT (ABSTRAK)

Berdasarkan hasil penelitian Wiqoyah (2003) tanah Tanon merupakan tanah lempung. Persentase lolos saringan Nomor 200 tanah lempung ini sebesar 94,13%, batas cair (LL) = 88,03%, indeks plastisitas (IP) = 49,44%. Berdasarkan system *American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO)*, tanah lempung Tanon termasuk kedalam kelompok A-7-5 dan berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* termasuk ke dalam kelompok CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi. Berdasarkan contoh penelitian diatas bahwa Stabilisasi dengan kapur dapat memperbaiki kondisi tanah, namun sejauh ini belum diketahui bagaimana pengaruh variasi diameter butiran terhadap stabilisasi tanah tersebut. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan berbagai variasi diameter butiran tanah yaitu lolos saringan No. 4, lolos saringan No. 30 dan lolos saringan No. 50, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah variasi diameter butiran berpengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung tersebut. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan meliputi sifat fisis tanah campuran dan uji *DST (Direct Shear Test)* dengan penambahan kapur sebesar 2.5% dan 5% dari berat sampel. Hasil pengujian sifat fisis tanah campuran didapatkan nilai kadar air, berat jenis (*specific gravity*), batas cair dan indeks plastisitas turun, sedangkan nilai batas plastis dan batas susut naik. Hasil pengujian tanah campuran diklasifikasikan menurut sistem AASHTO, termasuk kelompok A-7-5, sedangkan menurut sistem USCS, tanah lempung + kapur 2,5% masuk ke dalam kelompok CH dan tanah lempung + kapur 5% termasuk ke dalam kelompok MH. Hasil pengujian sifat mekanis berupa pengujian standar *Proctor* dan pengujian *DST (Direct Shear Test)*, dari pengujian standar *Proctor* menunjukkan adanya penurunan berat volume kering dan penurunan terbesar terjadi pada tanah lolos No. 50 + kapur 5% dengan nilai berat volume kering sebesar 1,062 gr/cm³, untuk kadar air optimum peningkatan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 pada penambahan kapur 5% dengan hasil kadar air optimum sebesar 32,46%. Hasil pengujian *DST (Direct Shear Test)* mengalami peningkatan, peningkatan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 pada penambahan kapur 5% dengan nilai tegangan geser (τ) 0,677 kg/cm².

Kata kunci : tanah lempung, stabilisasi, kapur, sifat fisis, kuat geser.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan hasil penelitian Wiqoyah (2003) tanah Tanon merupakan tanah lempung. Presentase lolos saringan Nomor 200 tanah lempung ini sebesar 94,13%, batas cair (LL) = 88,03% , indeks plastisitas (IP) = 49,44%. Berdasarkan sistem *American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO)*, tanah lempung Tanon termasuk ke dalam kelompok A-7-5 dan berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* termasuk ke dalam kelompok CH yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

Untuk menangani permasalahan di atas diperlukan usaha-usaha untuk memperbaiki karakteristik tanah lempung Tanon agar layak digunakan sebagai pendukung konstruksi, salah satu caranya adalah dengan distabilisasi. Stabilisasi tanah merupakan perbaikan tanah yang memungkinkan

tanah tersebut menjadi lebih baik. Penelitian tentang perbaikan tanah tersebut pernah dilakukan sebelumnya, sebagai contoh penelitian dari (Istiawan, 2008) dengan kapur sebagai bahan stabilisasi terhadap kuat dukung dan potensi pengembangan Tanah lempung Tanon. Hasil penelitian menunjukkan kapur dapat memperbaiki sifat fisis tanah tanon.

Berdasarkan penelitian di atas maka kapur baik untuk bahan *stabilizator* dikarenakan jika kapur bereaksi dengan mineral lempung maka akan membentuk suatu gel yang kuat dan keras. Penelitian yang dilakukan Istiawan (2008) hanya melakukan penelitian pada persentase penambahan kapur saja, oleh karena itu pada penelitian ini ditambahkan variasi diameter butiran tanah, hal ini dilakukan dengan harapan jika semakin kecil ukuran butiran tanah maka semakin sempurna kapur yang mengisi rongga antar tanah tersebut atau dengan kata lain

homogenitas antara tanah dengan kapur semakin baik.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perubahan sifat fisis tanah lempung setelah distabilisasi dengan kapur 0%, 2.5%, 5% dengan perbedaan diameter lolos No.4, No.30, dan No.50.
2. Mengetahui perubahan nilai kuat geser dan parameter geser tanah lempung dengan penambahan kapur 0%, 2.5%, 5% dengan perbedaan diameter lolos No.4, No.30, dan No.50.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasikan (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. (Hardiyatmo, 1992)

Jenis - jenis Tanah (Bowles, 1991)

Fraksi - fraksi tanah (jenis tanah berdasarkan butir) :

1. Kerikil (*gravel*) > 2,00 mm
2. Pasir (*sand*) 2,00 - 0,06 mm
3. Lanau (*silt*) 0,06 - 0,002 mm
4. Lempung (*clay*) < 0,002 mm

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung, dan mineral-mineral yang sangat halus lain.

Stabilisasi Tanah

Usaha untuk memperbaiki atau merubah sifat-sifat tanah disebut stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dasar bertujuan untuk merubah struktur tanah atau sifat tanah sehingga dapat untuk memenuhi persyaratan dalam meningkatkan daya dukung tanah. Tanah yang tidak memenuhi persyaratan tersebut mungkin bersifat sangat lepas, mempunyai sifat perembesan yang tinggi, kuat dukung sangat rendah, atau sifat-sifat lain yang membuat tanah tersebut tidak layak atau tidak sesuai digunakan sebagai tanah dasar.

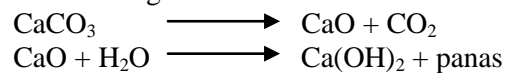
Stabilisasi tanah dasar bukan hanya perbaikan tanah yang tidak memenuhi syarat, tetapi sering juga dimanfaatkan untuk meningkatkan dari tanah dasar yang sebenarnya sudah tergolong baik, sehingga ketebalan lapisan-lapisan konstruksi jalan di atasnya dapat diperkecil. Secara garis besar stabilisasi tanah

dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu : Stabilisasi mekanik, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimia (Ingels dan Metcalf, 1972).

Kapur

Bahan dasar dari kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung *calcium karbonat* (CaCO_3), dengan pemanasan pada suhu tinggi ($\pm 900^\circ \text{C}$) karbon dioksidanya keluar dan tinggal kapur/kalsium oksidanya saja (CaO). Kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air maka mengembang dan retak-retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, hasilnya adalah *calcium hidroksida* (Ca(OH)_2).

Proses kimia pembentukan kapur dapat ditulis sebagai berikut :



Kapur mati (*slake lime*) lebih sering digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah daripada kapur hidup (*quick lime*), memang secara kemampuan mengikat kapur hidup (*quick lime*) lebih baik daripada kapur mati (*slake lime*), namun kapur hidup (*quick lime*) dalam pelaksanaannya menyebabkan alat-alat mudah berkarat dan berbahaya bagi keselamatan pekerja. (Kardijono dalam Wiqoyah, 2003)

Tinjauan Penelitian

Penelitian pada tanah Tanon pernah dilakukan diantaranya oleh Istiawan (2008) dengan judul PENGARUH KAPUR SEBAGAI BAHAN STABILISASI TERHADAP KUAT DUKUNG DAN POTENSI PENGEMBANGAN TANAH LEMPUNG (Studi Kasus Tanah Lempung Tanon, Sragen). Hasil penelitian menunjukkan perubahan kondisi tanah terbesar pada campuran kapur 12%, dengan nilai *specific gravity* sebesar 2,63 lolos saringan No.200 sebesar 80,26%, PI = 8,97% dan GI = 5,44%, sedangkan untuk nilai CBR *soaked* = 6,5%.

Penelitian berikutnya oleh Al Amin, Joni (2011) dengan judul PERILAKU TANAH LEMPUNG TANON YANG DISTABILISASI DENGAN TANAH GADONG DAN KAPUR (Studi Kasus Kerusakan Jalan Desa Jono, Tanon, Sragen). Nilai CBR *soaked* pada tanah asli sebesar 1,711%, nilai CBR *soaked* terjadi perubahan terbesar pada penambahan kapur 10% + tanah gadong 2,5% dengan nilai 15%.

Dan yang terakhir yaitu Parwanto (2011) dengan judul PEMANFAATAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PERAWATAN 3 HARI (Studi Kasus Subgrade Jalan Raya Tanon, Sragen). Di dapat Nilai terbesar, nilai CBR dengan perawatan 3 hari tanah+abu sekam padi 10% adalah 12%.

LANDASAN TEORI

Sifat-Sifat Fisis Tanah

Specific gravity (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4 °C (Hardiyatmo, 2002). Kadar air tanah (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Batas – batas *Atterberg* meliputi, batas cair (LL) yaitu didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis untuk mendapatkannya diperlukan 25 pukulan, batas plastis (PL) yaitu didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung, batas susut (SL) yaitu didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah dan indeks plastisitas (PI) yaitu LL-PL.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2002). Analisa ukuran butiran meliputi analisa hydrometer dan analisa saringan, analisa hydrometer digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel-partikel tanah berdiameter kurang dari 0,075 mm. Analisa saringan digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel-partikel tanah berdiameter lebih dari 0,075 mm. Analisa ayakan dilakukan dengan mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Untuk standar ayakan di Amerika Serikat, nomor ayakan dan ukuran lubang diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran-ukuran ayakan standar di Amerika Serikat

Ayakan no	Lubang (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075

270	0,053
-----	-------

(Das, 1995)

Klasifikasi tanah menggunakan metode USCS dan AASHTO.

Sifat-Sifat Mekanis Tanah

Standar Proctor (uji Pemadatan) merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Pemadatan bertujuan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan untuk pekerjaan tertentu.

Menurut Hardiyatmo (2002) pemadatan tanah bertujuan antara lain:

- 1) Mempertinggi kuat geser tanah
- 2) Mengurangi sifat mudah mampat (*kompresibilitas*)
- 3) Mengurangi permeabilitas
- 4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainya

Dari pengujian *Standard Proctor* pada penelitian di laboratorium ini didapatkan berat volume kering maksimum (γ_d maks) dan kadar air optimum (w_{opt}), yang kemudian kadar air optimum (w_{opt}) tersebut digunakan sebagai acuan penambahan air pada pembuatan sampel untuk pengujian DST.

Uji DST (*direct shear test*) adalah pengujian untuk menentukan kuat geser tanah setelah mengalami konsolidasi akibat suatu beban dengan drainase vertikal 2 arah. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan *single shear* atau *double shear*. Pemeriksaan dapat dibuat pada semua jenis tanah dan pada contoh tanah asli (*undisturbed*) atau contoh tanah tidak asli (*disturbed*). Dalam perhitungan mekanika tanah, kuat geser ini biasa dinyatakan τ (tegangan geser) dengan parameter geser C (kohesi) dan ϕ sudut gesek dalam.

Hasil pengujian dapat diperoleh dengan menghitung tegangan normal dan tegangan geser.

Tegangan normal dan tegangan geser dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\tau = \frac{P}{A}$$

Menurut Mohr tegangan geser dapat dihitung dengan rumus :

$$\tau = c + \sigma \tan \theta$$

Sedangkan parameter geser dalam bentuk matematis :

$$Y = a_0 + a_1 X ; \quad \begin{array}{ll} Y & = \tau \\ X & = \sigma \\ a_0 & = c \\ a_1 & = \tan \theta \end{array}$$

Persamaan :

$$a_0 = \frac{(\sum Y).(\sum X^2) - (\sum X).(\sum XY)}{n.(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{n.(\sum XY) - (\sum X).(\sum Y)}{n.(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah tanah lempung dari desa Jono, Tanon, Sragen diambil pada kedalaman lebih dari 30 cm (keadaan tanah terganggu) dan kapur. Besar persentase penambahan kapur adalah 0%; 2,5%; 5% dari berat sampel dan variasi diameter butiran yaitu tanah lolos saringan No.4, No.30, dan No.50.

Uji yang dilakukan terhadap campuran tanah dan kapur adalah sifat fisis dan mekanis tanah. Sifat fisis tanah meliputi; berat jenis, kadar air, *Atterberg limits*, analisa ukuran butiran dan klasifikasi tanah. Sifat mekanis tanah meliputi uji pemadatan dan DST.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set alat ukur berat jenis (ASTM D854-02), satu set alat uji kadar air (ASTM 2216-98), satu set alat uji analisa ukuran butiran (ASTM D442-63), satu set alat uji batas *Atterberg* (ASTM 4318), alat pemadat standar (ASTM D698) dan satu set alat uji DST (ASTM D3080). Beserta alat-alat bantu lain yang terdiri dari *oven*, cawan, timbangan, gelas ukur 1000 ml dan *picnometer*.

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan penyediaan bahan yaitu sampel tanah dan kapur. Menyaring sampel tanah lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50. Selanjutnya dilakukan uji sifat fisis tanah asli dan tanah campuran yang meliputi : kadar air, berat jenis ($G_s = \text{Specific Gravity}$), batas-batas *Atterberg* ($LL = \text{Liquid Limit}$, $PL = \text{Plastic Limit}$, $SL = \text{Shrinkage Limit}$), dan analisa ukuran butiran. Kemudian melakukan pengujian sifat mekanis tanah yaitu uji kepadatan tanah dengan metode *standard Proctor* untuk mendapatkan kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Kadar air tersebut kemudian digunakan untuk pembuatan sampel pengujian *DST*. Setelah itu melakukan analisa data, pengambilan kesimpulan dan memberikan saran jika diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisis

Pada pengujian berat jenis kapur didapatkan G_s kapur sebesar 2,302.

Hasil uji sifat fisis dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 10 serta pada Gambar 1 sampai 13.

Tabel 2. Hasil uji *specific gravity* dan kadar air tanah lolos No. 4

% Penambahan kapur	<i>Specific gravity</i>	Kadar Air (%)
0	2,622	13,858
2.5	2,600	13,502
5	2,583	12,443

Tabel 3. Hasil uji *specific gravity* dan kadar air tanah lolos No. 30

% Penambahan kapur	<i>Specific gravity</i>	Kadar Air (%)
0	2,622	13,858
2.5	2,600	11,708
5	2,584	11,082

Tabel 4. Hasil uji *specific gravity* dan kadar air tanah lolos No. 200

% Penambahan kapur	<i>Specific gravity</i>	Kadar Air (%)
0	2,622	13,858
2.5	2,600	10,857
5	2,583	10,511

Tabel 5. Hasil uji batas *Atterberg* tanah lolos No. 4

% Penambahan kapur	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastis (%)
0	93,12	29,74	10,75	63,38
2.5	76,70	33,33	11,64	43,36
5	73,08	35,63	12,31	37,45

Tabel 6. Hasil uji batas *Atterberg* tanah lolos No. 30

% Penambahan kapur	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastis (%)
0	93,12	29,74	10,75	63,38
2.5	84,03	32,60	12,17	51,43
5	81,21	34,73	12,46	46,48

Tabel 7. Hasil uji batas *Atterberg* tanah lolos No. 200

% Penambahan kapur	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastis (%)
0	93,12	29,74	10,75	63,38
2.5	87,71	32,01	12,73	55,70
5	86,09	33,19	13,28	52,90

Tabel 8. Hasil uji analisa ukuran butiran dan klasifikasi tanah campuran lolos No. 4

% Penambahan kapur	Lolos saringan No. 200 (%)	Fraksi halus (ukuran < 0,075 mm)	Klasifikasi	
			AASHTO	USCS
0	90,4	52,963	A-7-5	CH
2.5	50,4	34,183	A-7-5	CH
5	42,4	24,529	A-7-5	MH

Tabel 9. Hasil uji analisa ukuran butiran dan klasifikasi tanah campuran lolos No. 30

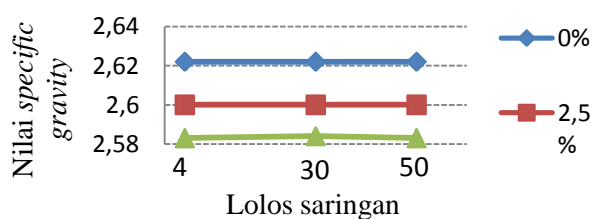
% Penambahan kapur	Lolos saringan No. 200 (%)	Fraksi halus (ukuran < 0,075 mm)	Klasifikasi	
			AASHTO	USCS
0	90,4	52,963	A-7-5	CH
2.5	65,2	38,252	A-7-5	CH
5	62,8	23,836	A-7-5	MH

Tabel 10. Hasil uji analisa ukuran butiran dan klasifikasi tanah campuran lolos No. 50

% Penambahan kapur	Lolos saringan No. 200 (%)	Fraksi halus (ukuran < 0,075 mm)	Klasifikasi	
			AASHTO	USCS
0	90,4	52,963	A-7-5	CH
2.5	78	39,829	A-7-5	CH
5	75,2	28,673	A-7-5	MH

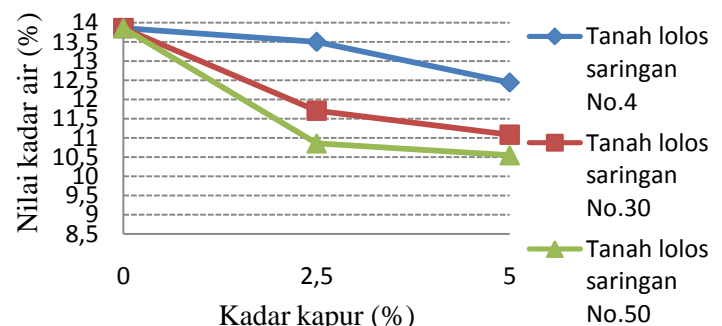
1. *Specific gravity* (berat jenis) dan kadar air

Uji *specific gravity* tanah asli pada tanah lolos saringan No.4, No.30 dan No.50 didapatkan nilai sebesar 2,622 dan terjadi penurunan seiring bertambahnya kapur. Nilai *specific gravity* terkecil terjadi pada tanah dengan penambahan 5% kapur yaitu sebesar 2,583. Hal ini disebabkan antara lain karena bercampurnya 2 bahan dengan *specific gravity* yang berbeda. Nilai *specific gravity* tanah asli adalah 2,622 sedangkan nilai *specific gravity* kapur lebih kecil yaitu 2,302 sehingga penurunan nilai *specific gravity* terjadi.

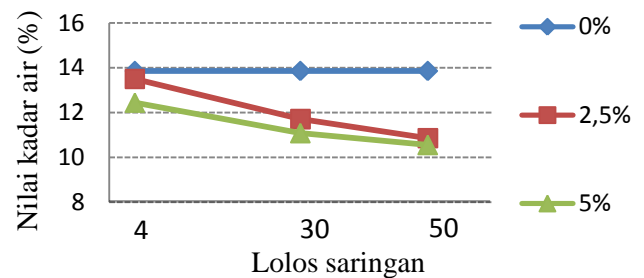


Gambar 1. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai *specific gravity*

Dilihat dari tabel 2,3, dan 4 kadar air mengalami penurunan seiring penambahan kapur dan seiring seragamnya diameter butiran tanah. Penurunan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 50 + kapur 5% yaitu sebesar 10,511%. Pengujian kadar air tanah campuran dilakukan dengan kondisi tanah lempung kering udara dan kapur kondisi kering udara. Berdasarkan kondisi tersebut penurunan kadar air dimungkinkan karena adanya penyerapan air oleh kapur. Banyaknya kapur memungkinkan menyerap air lebih banyak. Hubungan kadar air tanah asli dan campuran dapat dilihat pada Gambar 2 dan Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai kadar air dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai kadar air

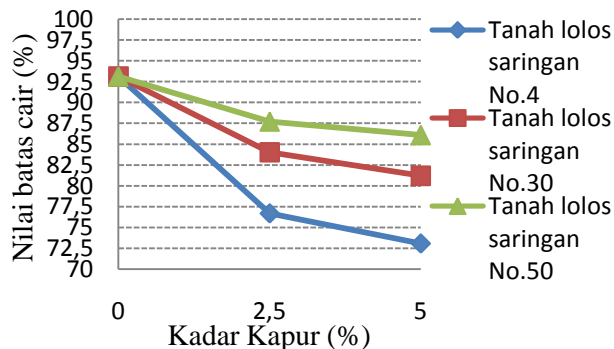


Gambar 3. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai kadar air

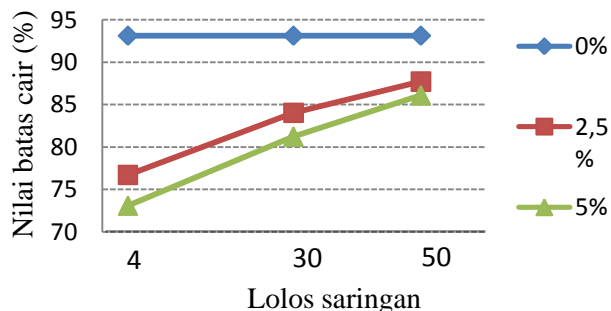
2. Batas Atterberg

Dari tabel 5,6,dan 7 nilai batas cair (LL) mengalami penurunan seiring bertambahnya kapur dan mengalami kenaikan seiring dengan semakin seragamnya diameter butiran tanah. Penurunan nilai batas cair seiring bertambahnya kapur ini disebabkan karena tanah mengalami proses sementasi sehingga tanah menjadi butiran yang lebih besar yang menjadikan gaya tarik menarik antar partikel dalam tanah menurun. Penurunan ini menyebabkan partikel dalam tanah mudah lepas dari ikatannya sehingga nilai kohesi akan semakin kecil, hal ini akan

menyebabkan turunnya nilai batas cair (LL). Sedangkan kenaikan nilai batas cair seiring dengan semakin seragamnya diameter butiran ini dikarenakan semakin kecil butiran tanah maka akan semakin kuat daya tarik menarik antar partikel tanah, jadi antar partikel tanah pada butiran kecil tidak mudah lepas. Hubungan penambahan kapur dengan nilai batas cair (LL) dapat dilihat pada Gambar 4. dan Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai batas cair (LL) dapat dilihat pada Gambar 5.

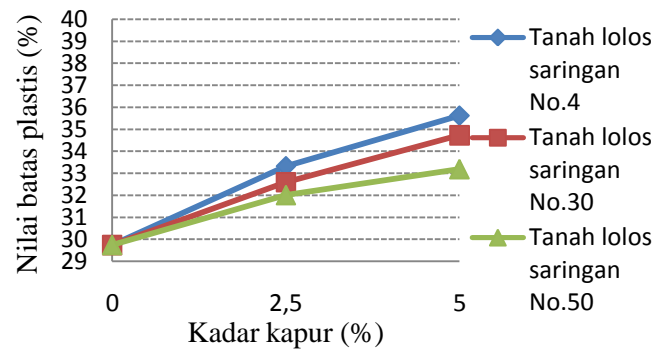


Gambar 4. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai batas cair (LL)

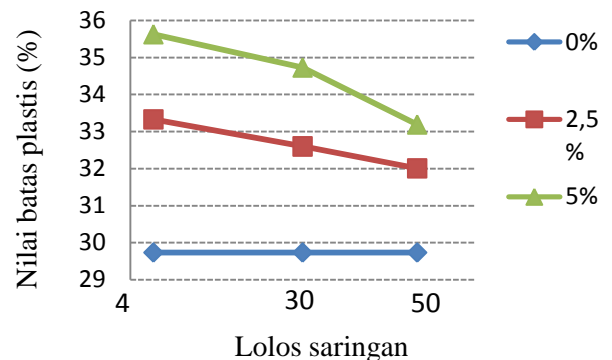


Gambar 5. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 200 dengan nilai batas cair (LL)

Nilai batas plastis (PL) dilihat dari tabel 5,6 dan 7 mengalami peningkatan seiring bertambahnya kapur dan mengalami penurunan seiring semakin seragamnya diameter butiran tanah. Peningkatan nilai batas plastis seiring bertambahnya kapur ini dikarenakan terjadinya penurunan kohesi tanah yang menyebabkan ikatan antar butir tanah semakin tidak lekat.. Sedangkan penurunan batas plastis seiring seragamnya diameter butiran tanah dikarenakan tanah dengan butiran kecil ikatan antar butir tanah semakin lekat (kohesi tinggi). Hubungan penambahan kapur dengan nilai batas plastis (PL) dapat dilihat pada Gambar 6. dan Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai batas plastis (PL) dapat dilihat pada Gambar 7.

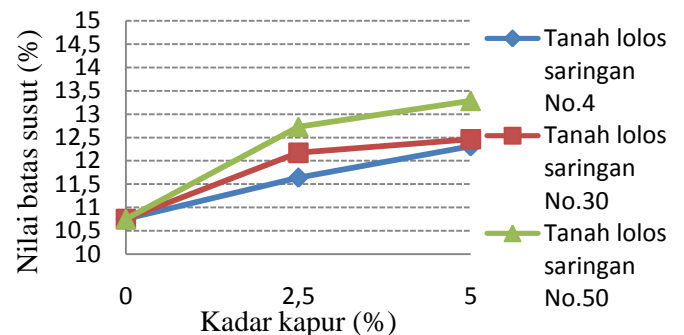


Gambar 6. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai batas plastis (PL)

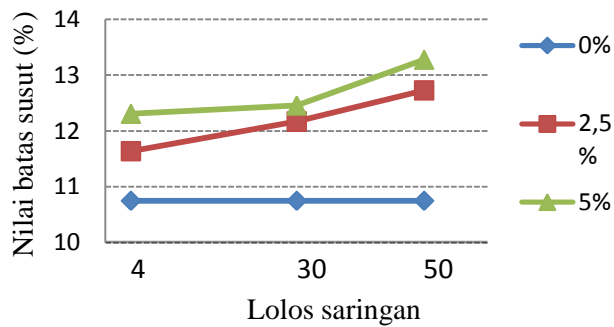


Gambar 7. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai batas plastis (PL)

Berdasarkan tabel 2,3 dan 4, nilai batas susut (SL) mengalami peningkatan seiring bertambahnya kapur dan seiring semakin seragamnya diameter butiran tanah. Hal ini terjadi karena pencampuran tanah asli dengan kapur menyebabkan butiran tanah semakin besar, sehingga akan memperkecil luas spesifik butiran, yang menyebabkan butiran tidak mudah terpengaruh oleh perubahan kadar air. Hubungan penambahan kapur dengan nilai batas susut (SL) dapat dilihat pada Gambar 8. dan Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai batas susut (SL) dapat dilihat pada Gambar 9.

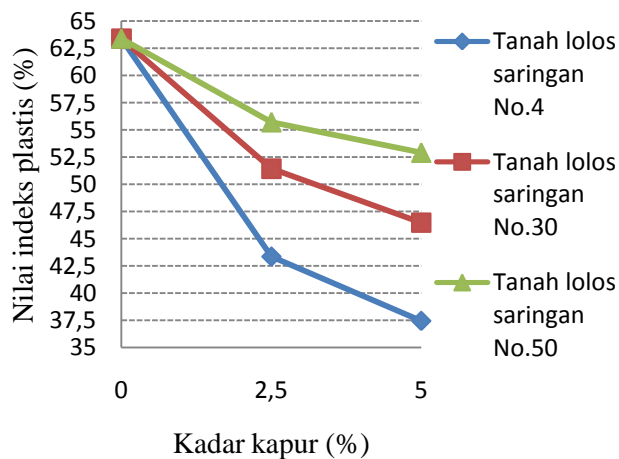


Gambar 8. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai batas susut (SL)

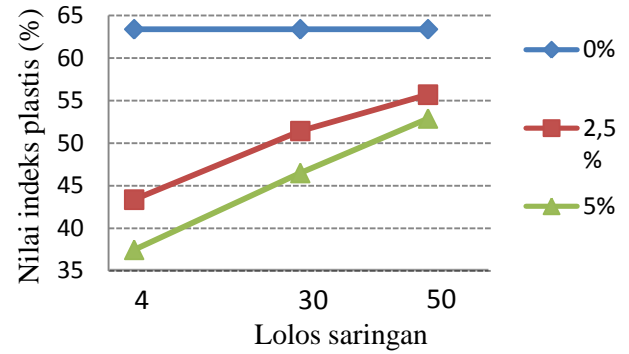


Gambar V.9. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai batas susut (SL)

Hasil perhitungan PI berdasar nilai LL dan PL dari pengujian *Atterberg limits*. Besar kecilnya nilai indeks plastis sangat tergantung oleh nilai batas cair dan batas plastis. Penambahan persentase kapur dapat menurunkan batas cair dan menaikkan batas plastis, maka indeks plastisnya akan menurun. Dari tabel 5,6, dan 7 nilai PI (indeks plastis) mengalami penurunan seiring bertambahnya kapur dan seiring semakin beragamnya diameter butiran tanah. Penurunan tertinggi terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 pada penambahan kapur 5%, dengan nilai PI (indeks plastis) 37,45%. Pada tabel indeks plastisitas menyatakan bahwa jika nilai $PI > 17$ maka tanah tersebut masuk ke dalam tanah lempung kohesif berplastisitas tinggi. Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai indeks plastis dapat dilihat pada Gambar 10. dan Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai indeks plastis (PI) dapat dilihat pada Gambar 11.



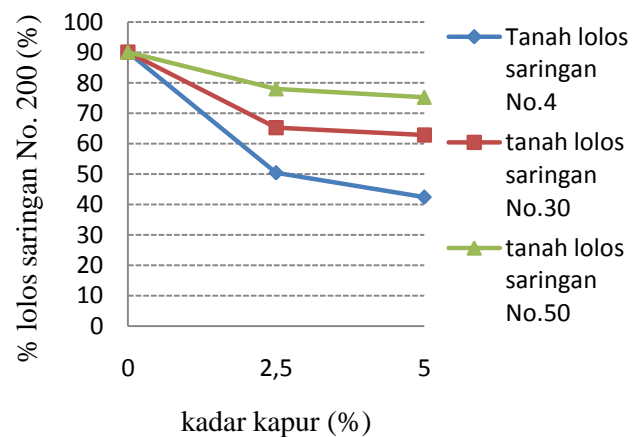
Gambar 10. Grafik Hubungan antara persentase penambahan kapur dengan nilai indeks plastis (PI)



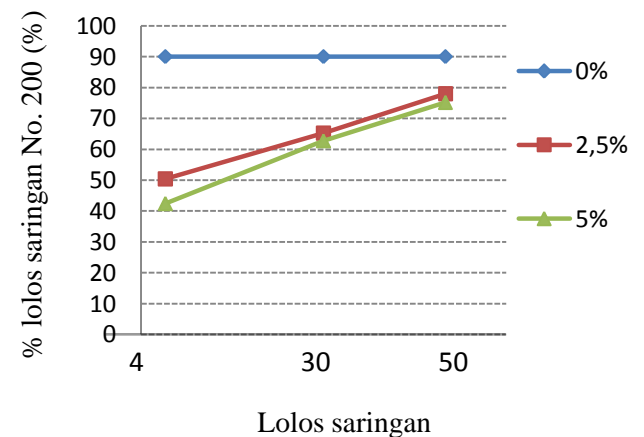
Gambar 11. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai indeks plastis (PI)

3. Analisa ukuran butiran dan klasifikasi tanah

Hasil uji gradasi menunjukkan bahwa penambahan kapur menyebabkan perubahan komposisi % lolos saringan. Penurunan nilai persentase saringan lolos No. 200 terhadap penambahan kapur dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan persentase lolos saringan No. 200 dengan penambahan kapur



Gambar 13. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan persentase lolos saringan No. 200

Pada tanah lolos saringan No.50 dengan penambahan kapur 2,5% didapatkan nilai batas cair sebesar 87,71%, batas plastis 32,01%, persentase lolos saringan No. 200 sebesar 78% dan nilai GI sebesar 47,62 maka diambil $GI=47$, menurut AASHTO termasuk kedalam kelompok A-7-5, yang merupakan tanah lempung bersifat tidak baik atau buruk apabila digunakan sebagai lapis pondasi perkerasan jalan atau bangunan.

Pada penambahan kapur 5% didapatkan nilai batas cair sebesar 86,09%, batas plastis 33,19%, persentase lolos saringan No. 200 75,2% dan nilai GI sebesar 43,11 menurut AASHTO termasuk kedalam kelompok A-7-5. Hasil yang sama juga terjadi pada penambahan tanah lolos saringan No. 4 dan No. 30 pada tanah asli dan penambahan kapur 2,5% yaitu menurut metode AASHTO termasuk kedalam kelompok A-7-5.

Berdasarkan nilai batas cair dan indeks plastisitas pada tanah lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 penambahan kapur 2,5% dalam metode USCS termasuk kelompok CH, dan untuk penambahan kapur 5% termasuk kelompok MH-OH. Tetapi didapatkan nilai LLR pada tanah lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan penambahan kapur 5% sebesar 0,871 ; 0,886 ; 0,891 sehingga nilai perbandingan antara batas cair dengan tanah oven dengan batas cair dengan tanah kering udara ($LLR>0,75$) tanah merupakan kelompok MH, yaitu tanah lanau elastis.

Sifat Mekanis

Hasil uji sifat mekanis dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 19 serta pada Gambar 14 sampai Gambar 22.

Tabel 11. Hasil uji *standard Proctor* pada tanah lolos No. 4

% Penambahan kapur	$W_{opt} (%)$	$\gamma_d \text{ maks (gr/cm}^3\text{)}$
0	31,02	1,215
2.5	32,24	1,190
5	32,46	1,145

Tabel 12. Hasil uji *standard Proctor* pada tanah lolos No. 30

% Penambahan kapur	$W_{opt} (%)$	$\gamma_d \text{ maks (gr/cm}^3\text{)}$
0	29,90	1,210
2.5	30,10	1.156
5	30,50	1.135

Tabel 13. Hasil uji *standard Proctor* pada tanah lolos No. 50

% Penambahan kapur	$W_{opt} (%)$	$\gamma_d \text{ maks (gr/cm}^3\text{)}$
0	28,70	1,100
2.5	28,90	1,094
5	29,70	1,062

Tabel 14. Nilai tegangan geser pada tanah lolos saringan No. 4

Beban Normal (N)	penambahan kapur		
	0%	2,5%	5%
3 Kg	0,545	0,605	0,647
6 Kg	0,599	0,665	0,677
9 Kg	0,599	0,665	0,677

Tabel 15. Nilai tegangan geser pada tanah lolos saringan No. 30

Beban Normal (N)	penambahan kapur		
	0%	2,5%	5%
3 Kg	0,509	0,531	0,549
6 Kg	0,515	0,587	0,604
9 Kg	0,573	0,611	0,623

Tabel 16. Nilai tegangan geser pada tanah lolos saringan No. 50

Beban Normal (N)	penambahan kapur		
	0%	2,5%	5%
3 Kg	0,467	0,514	0,533
6 Kg	0,473	0,551	0,586
9 Kg	0,515	0,583	0,609

Tabel 17. Nilai parameter geser pada tanah lolos saringan No. 4

Variasi	$C \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\Phi \text{ (}^\circ\text{)}$
Tanah asli	0,485	19,4
Tanah asli + kapur 2,5%	0,524	23,8
Tanah asli + kapur 5%	0,539	25,1

Tabel 18. Nilai parameter geser pada tanah lolos saringan No. 30

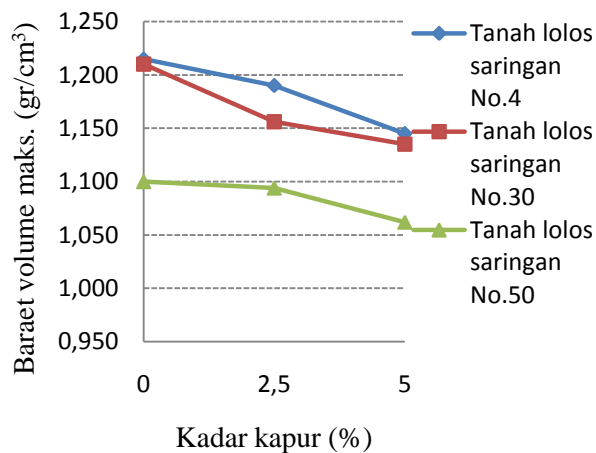
Variasi	$C \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\Phi \text{ (}^\circ\text{)}$
Tanah asli	0,469	17,3
Tanah asli + kapur 2,5%	0,496	21,5
Tanah asli + kapur 5%	0,518	22,7

Tabel 19. Nilai parameter geser pada tanah lolos saringan No. 50

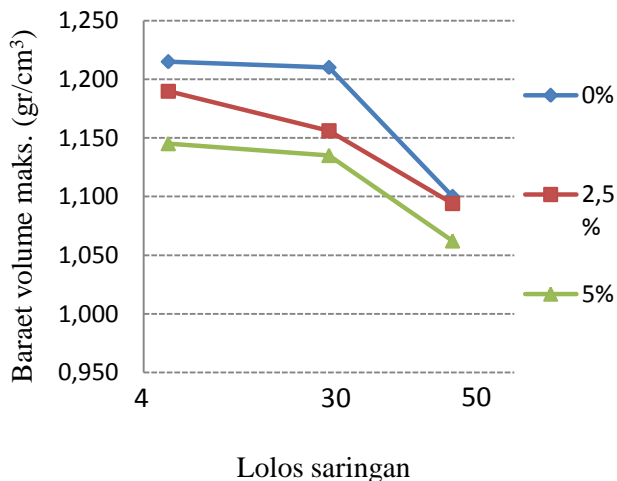
Variasi	C (kg/cm ²)	Φ (°)
Tanah asli	0,438	13,2
Tanah asli + kapur 2,5%	0,479	18,8
Tanah asli + kapur 5%	0,501	20,3

1. Standard Proctor

Dari Tabel 11 sampai tabel 13 hubungan berat volume maksimum dengan penambahan kapur dapat disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Hubungan antara berat volume maksimum dengan penambahan persentase kapur.

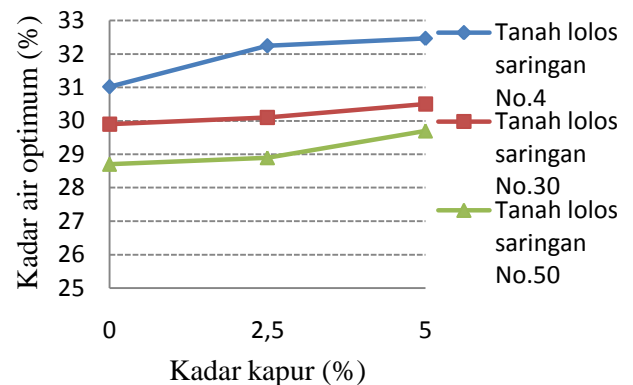


Gambar V.15. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan berat volume maksimum

Pada Gambar 14. menunjukkan bahwa tanah lolos saringan No. 4 dengan penambahan kapur akan menyebabkan penurunan berat isi kering maksimum. Pada tanah asli lolos saringan No. 4 berat isi kering maksimum sebesar 1,215 gr/cm³ namun seiring dengan penambahan kapur mengalami penurunan.

Penurunan pada penambahan kapur 5% yaitu dengan nilai berat isi kering maksimum sebesar 1,145 gr/cm³. Hal ini juga terjadi pada tanah lolos saringan No. 30 dan No. 50. Penurunan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 50 pada penambahan kapur 5% dengan hasil berat isi kering maksimum sebesar 1,062 gr/cm³. Karena volume tanah yang digantikan dengan volume kapur dimana berat jenis kapur yang relatif lebih ringan bila dibandingkan berat jenis tanah sehingga mengakibatkan berat volume kering tanah campuran menjadi turun.

Hubungan antara kapur dengan kadar air optimum dapat dilihat pada Gambar 16.

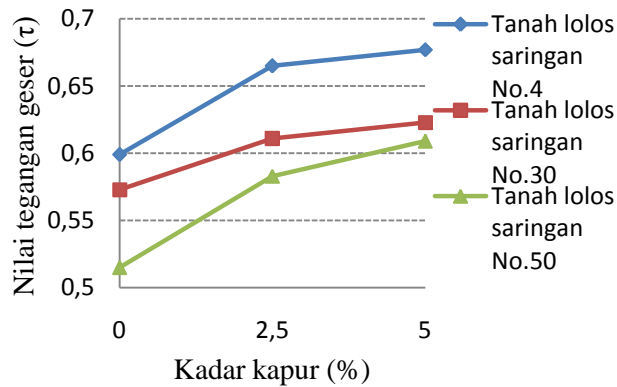


Gambar 16. Grafik Hubungan antara kadar air optimum dengan penambahan persentase kapur.

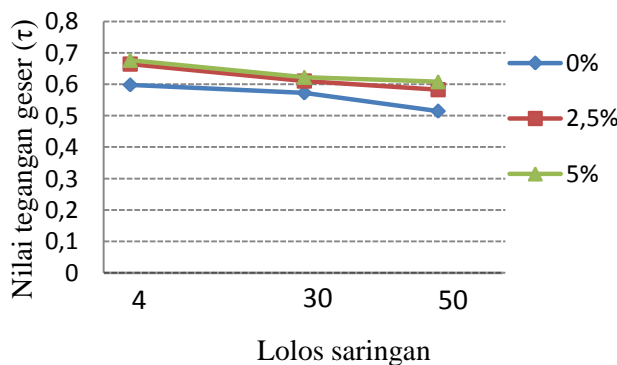
Pada Gambar 16 menunjukkan bahwa dengan penambahan kapur cenderung menyebabkan kenaikan kadar air optimum. Nilai kadar air optimum pada tanah asli lolos saringan No. 4 yaitu 31% tetapi seiring penambahan kapur cenderung mengalami peningkatan. Pada tanah lolos saringan No. 4 penambahan kapur 5% yaitu 32,46%. Hal ini juga terjadi pada tanah lolos saringan No. 30 dan No. 50. Peningkatan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 pada penambahan kapur 5% dengan hasil kadar air optimum sebesar 32,46 %. Hal ini disebabkan oleh pembesaran rongga karena sementasi yang menyebabkan bertambahnya pori-pori tanah yang dapat diisi air. Pada tanah asli lolos saringan No.30 dan No. 50 mengalami penurunan kadar air optimum. Hal ini dikarenakan semakin kecil butiran maka tanah akan lebih rapat, pori-pori tanah sedikit terisi air jadi nilai kadar air optimum mengalami penurunan dari kadar air optimum pada tanah asli lolos saringan No. 4.

2. DST (Direct Shear Test)

Dari Tabel 14 sampai tabel 19 nilai tegangan geser dan parameter geser dapat disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 17 sampai gambar 22.

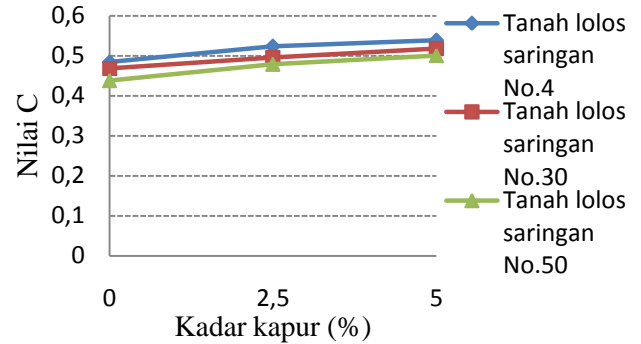


Gambar 17. Grafik Hubungan antara penambahan persentase kapur dengan nilai tegangan geser (τ) dengan beban normal 9 Kg.

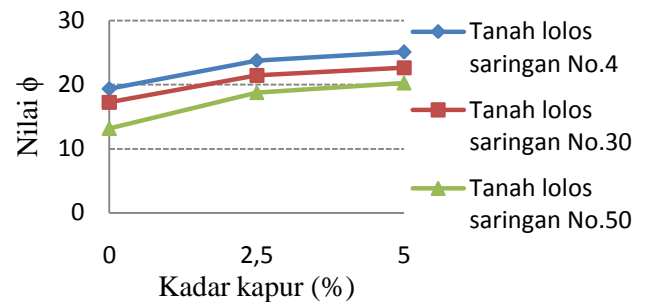


Gambar 18. Grafik Hubungan antara lolos saringan No.4, No.30 dan No.50 dengan nilai tegangan geser (τ) dengan beban normal 9 Kg.

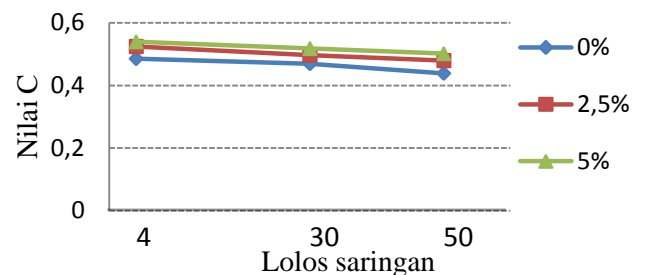
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan geser (τ) cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kapur. Nilai tegangan geser (τ) terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No.4 dengan penambahan presentase kapur 5% dan beban normal (N) 9Kg yaitu sebesar 0,677 kg/cm². Hal ini disebabkan karena tanah lolos saringan No.4 merupakan tanah yang bergradasi paling baik dalam pengujian ini, sedangkan penambahan kapur juga berpengaruh pada nilai kuat geser karena terjadinya proses sementasi saat perendaman, yang menyebabkan penggumpalan pada tanah campuran sehingga daya ikat antar butiran meningkat. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan, hal ini yang berkaitan dengan beban normal (N) adalah desakan, jadi semakin besar desakan/beban yang diberikan kepada tanah maka semakin besar pula kuat geser tanah tersebut. Hasil pengujian kuat geser di atas didukung dengan grafik parameter geser dibawah ini.



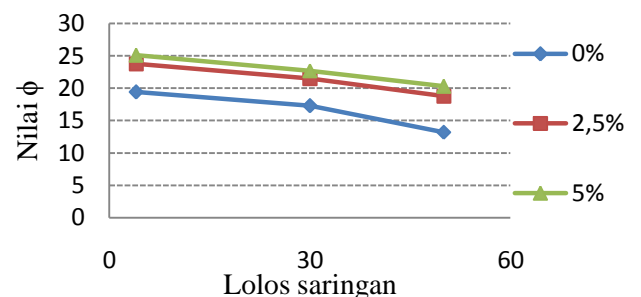
Gambar 19. Grafik Hubungan antara penambahan persentase kapur dengan nilai C.



Gambar 20. Grafik Hubungan antara penambahan persentase kapur dengan nilai ϕ .



Gambar 21. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai C.



Gambar 22. Grafik Hubungan antara lolos saringan No. 4, No. 30 dan No. 50 dengan nilai ϕ .

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai C dan ϕ cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kapur. Pada tanah asli lolos saringan No. 4 nilai C dan ϕ yaitu masing-masing 0,485 kg/cm² dan 19,4° dan mengalami kenaikan

menjadi $0,539 \text{ kg/cm}^2$ dan $25,1^\circ$ pada penambahan kapur 5%. Hal ini juga terjadi pada tanah lolos saringan No. 30 dan No. 50. Peningkatan terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 pada penambahan kapur 5% dengan hasil C dan ϕ yaitu masing-masing $0,539 \text{ kg/cm}^2$ dan $25,1^\circ$.

Meningkatnya nilai C dan ϕ jika ditambah kapur disebabkan terjadinya proses sementasi saat perendaman, yang menyebabkan penggumpalan pada tanah campuran sehingga daya ikat antar butiran meningkat. Akibatnya rongga-rongga pori yang telah ada sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras, sehingga butiran menjadi tidak mudah hancur karena penambahan air. Pada tanah lolos saringan No. 30 dan No. 50 mengalami penurunan nilai C dan ϕ dari tanah lolos saringan No. 4, karena ukuran butiran pada tanah lolos saringan nomor 4 lebih beragam daripada tanah lolos saringan No. 30 dan No. 50. Tanah yang mempunyai gradasi baik mempunyai nilai kuat geser yang lebih baik, sedangkan tanah yang memiliki gradasi butiran jelek maka nilai kohesi (c) nya akan semakin turun. Hal ini dikarenakan tanah yang bergradasi jelek cenderung memiliki diameter butiran yang seragam dan pada saat tanah tersebut dicampur akan masih banyak rongga antar butiran sehingga ikatan antar butiran akan berkurang, sebaliknya tanah bergradasi baik jika dicampur maka rongga antar butiran semakin sedikit dan memperbesar ikatan antar butiran tersebut. Tanah yang bergradasi baik posisi antar butiran tanah bisa saling mengunci, hal ini akan menjadikan nilai sudut geser dalam (ϕ) lebih tinggi daripada tanah yang hanya mempunyai sedikit ragam butiran. Karena tanah lolos saringan No. 4 paling beragam jenis butirannya maka hasil nilai C dan ϕ tertinggi yaitu pada lolos saringan No. 4 dengan penambahan kapur 5%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium dan analisa data percobaan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil uji sifat fisis tanah lempung lolos saringan No. 4, No. 30, No. 50 setelah distabilisasi dengan kapur 2,5%, 5% menunjukkan bahwa nilai berat jenis (*specific gravity*), nilai kadar air, nilai batas cair dan nilai persentase lolos saringan No. 200 cenderung menunjukkan penurunan, sedangkan nilai batas plastis dan batas susut mengalami peningkatan.
2. Hasil uji pemadatan tanah menggunakan *standard Proctor* pada tanah lolos saringan No. 4, No. 30, No. 50. Berat volume kering maksimum mengalami penurunan dan kadar air optimum mengalami peningkatan setelah di stabilisasi

dengan kapur. Hasil uji pemadatan tanah pada sampel tanah campuran didapat penurunan berat volume kering maksimum terbesar terjadi pada campuran tanah lolos No. 50 dengan kapur 5% dan peningkatan kadar air optimum terbesar terjadi pada campuran tanah lolos No. 4 dengan kapur 5%.

3. Nilai tegangan geser (τ) cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kapur dan penambahan beban normal (N). Nilai tegangan geser (τ) terbesar terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 dengan penambahan presentase kapur 5% dan beban normal (N) 9Kg yaitu sebesar $0,677 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kohesi (C) dan nilai sudut geser dalam (ϕ) pada tanah lolos saringan No. 4, No. 30, No. 50 cenderung mengalami peningkatan seiring penambahan kapur. Nilai kohesi (C) tertinggi terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 + kapur 5% sebesar $0,529 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai sudut geser dalam (ϕ) tertinggi terjadi pada tanah lolos saringan No. 4 + kapur 5% sebesar $25,2^\circ$.
4. Berdasarkan hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah campuran yang distabilisasi dengan kapur, maka diameter butiran tanah yang paling beragam yang memberikan hasil paling bagus untuk memperbaiki tanah lempung Tanon, Sragen. Hal ini berbeda dengan hipotesa awal yang menyatakan bahwa tanah yang paling kecil butirannya yang memberikan hasil paling bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 1981. *Annual Book of ASTM*. Philadelphia, PA.
- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-sifat Fisis Tanah dan Geoteknis Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- Cassagrande, A. 1948. *Classification and Identification of Soils*, Transactions, ASCE, Vol.113.
- Das, B.M. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. 1992. *Mekanika Tanah I*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 2001. *Prinsip-prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian I* (1st ed). Yogyakarta : Beta Offset.
- Ingles, O.G. dan Metcalf, J.B., 1992, *Soil Stabilization Principles and Practice*, Butterworths Pty. Limited, Melbourne

- Istiawan, A. C.K. 2009. *Pengaruh Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Kuat Dukung dan Potensi Pengembangan Tanah Lempung (Studi Kasus Tanah Lempung Tanon, Sragen)*, Tugas Akhir, S1 Teknik Sipil, UMS
- Joni, A.A. 2011. *Perilaku Tanah Lempung Tanon Yang Distabilisasi Dengan Tanah Gadong Dan Kapur*. Tugas Akhir, S1 Teknik Sipil, UMS
- Parwanto, A. 2011. *Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung dengan Perawatan 3 hari (Studi Kasus Subgrade Jalan Raya Tanon, Sragen)*, Tugas Akhir, S1 Teknik Sipil, UMS.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Kanisius.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta : Kanisius.
- Wesley, L.D. 1994. *Mekanika Tanah* (cetakan ke VI), Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum,.
- Widodo, S, 1995,*Mekanika Tanah II*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Wiqoyah, Q. 2003. *Stabilisasi Tanah Lempung Tanon Dengan Penambahan kapur Dan Tras*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.